

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA

KATALINA DOMINGUEZ MORERA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

QUÍMICA INDUSTRIAL

Pereira

2009

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA**

KATALINA DOMINGUEZ MORERA

Director

EDWIN JHOVANY ALZATE RODRIGUEZ

Químico industrial

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

QUÍMICA INDUSTRIAL

Pereira

2009

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<i>INTRODUCCIÓN</i>	
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	7
<i>OBJETIVOS</i>	9
 <i>1. FUNDAMENTO TEÓRICO</i>	 11
<i>1.1 AGUAS RESIDUALES</i>	11
 <i>1.2 CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA</i>	 11
<i>1.2.1 Contaminantes Químicos</i>	11
<i>1.2.2 Contaminantes Físicos</i>	11
<i>1.2.3 Contaminantes Biológicos</i>	12
 <i>1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES</i>	 13
<i>1.3.1 Medida del caudal</i>	13
<i>1.3.2 Muestreo</i>	13
 <i>1.4 PARÁMETROS PARA MEDIR LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES</i>	 14
<i>1.4.1 Características Físicas</i>	14
<i>1.4.2 Características químicas</i>	17
<i>1.4.2.1 Materia orgánica</i>	17

1.4.2.2 <i>Medida del contenido orgánico</i>	17
1.4.2.3 <i>Materia inorgánica</i>	18
1.5 <i>TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES</i>	19
1.5.1 <i>Tratamiento primario</i>	19
1.5.2 <i>Tratamiento secundario</i>	22
1.5.2.1 <i>Tratamiento Biológico Anaerobio</i>	23
1.5.3 <i>Tratamiento terciario</i>	32
1.6 <i>DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL AEROPUERTO</i>	33
1.6.1 <i>Tanque séptico</i>	34
1.6.2 <i>Filtro anaeróbico de flujo ascendente</i>	36
1.6.3 <i>Lecho de secado</i>	36
2 <i>METODOLOGÍA</i>	40
2.1 <i>RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</i>	40
2.2 <i>MUESTREO</i>	
2.2.1 <i>En campo</i>	40
2.2.2 <i>En el laboratorio</i>	44
2.2.3 <i>Procesamiento de datos</i>	44
3 <i>RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN</i>	48

4	<i>CÁLCULOS Y RESULTADOS</i>	50
4.1	<i>DETERMINACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE</i>	50
4.2	<i>DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN</i>	50
5	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	55
5.1	<i>CARACTERIZACIONES HECHAS EN SEPTIEMBRE Y NOVIEMBRE</i>	55
5.1.1	<i>Caudal</i>	55
5.1.2	<i>Parámetros analizados en el laboratorio</i>	56
5.2	<i>CARACTERIZACIONES REALIZADAS DESDE EL INICIO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA</i>	60
5.2.1	<i>Caudal y pH</i>	60
5.2.2	<i>Biodegradabilidad</i>	61
5.2.3	<i>Comparación de la remoción de los diferentes parámetros</i>	62
	<i>CONCLUSIONES</i>	66
	<i>RECOMENDACIONES</i>	68
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	69
	<i>ANEXOS</i>	

Datos de muestreos realizados en 2008

Manual de Operación y Mantenimiento de la planta

Índice de Tablas

1.1 Clase de agua residual según su composición	11
1.2 Características de Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	39
2.1 Formato de toma de datos para aforos	47
4.1 Cargas Contaminantes y normatividad septiembre 2008	52
4.2 Cargas Contaminantes y normatividad noviembre 2008	53
4.3 Cargas contaminantes obtenidas en el tiempo de operación de la planta	54
4.4 Comparación de las características de funcionamiento actuales con las de diseño	65

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado es de gran importancia para mí ya que representa la culminación de mis estudios universitarios y el inicio de una nueva etapa en la que espero contar con personas con tanta sabiduría y amabilidad como las que me encontré a lo largo de mi carrera. Por tal razón quiero agradecerles a todos los que de una u otra forma ayudaron para que éste fuera llevado a cabo. Entre ellos, Edwin Jhovany Alzate, mi director, por su ayuda incondicional y valiosos aportes, también Ariel Felipe Arcila, mi evaluador, el personal del laboratorio de aguas, los docentes de la escuela de química y mis compañeros de estudio.

También quiero brindarle mis más sinceros agradecimientos al personal del Aeropuerto Internacional Matecaña, especialmente a los ingenieros Santiago Restrepo y Darío Domínguez, por haberme brindado la oportunidad de trabajar en esta entidad al igual que su colaboración y asistencia profesional, haciendo de esta una grata experiencia.

Finalmente quiero agradecerle a mi familia, especialmente a mis padres, Rosa María y Darío, quienes me brindan su ayuda incondicional y me dan su apoyo en todo momento.

Con absoluta sinceridad, mi agradecimiento a todos los que hice mención ya que con su aporte hicieron posible este trabajo de grado.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más fundamentales, y junto con el aire, la tierra y la energía constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo.

La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas [1]. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua esta fuera de toda duda.

El crecimiento de la industrialización, la urbanización y la población humana acrecienta los problemas de contaminación y en consecuencia el suministro de agua potable y el tratamiento de las aguas residuales. Debido a esto, actualmente se han desarrollado diferentes técnicas (tratamiento aerobio, anaerobio) para disminuir la contaminación de los productos que se vierten a ríos y lagos, las cuales están siendo adoptados por diferentes sectores industriales ya que son requisito por parte de las autoridades ambientales de tratamiento.

Una vez la empresa cuente con una planta, ésta debe seguir un programa de vigilancia continuo de su funcionamiento para así saber qué tan eficiente es y además solucionar a tiempo los problemas que se estén presentando. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizará un estudio del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del aeropuerto internacional Matecaña, analizando los diferentes parámetros, comparándolos con los exigidos por la ley y proponiendo soluciones para posibles problemas presentados.

JUSTIFICACIÓN

El Aeropuerto Internacional Matecaña cuenta con una planta de Tratamiento de Aguas residuales, la cual consta de un tanque séptico y un filtro anaerobio, cada uno de dos compartimientos, una caja de entrada de caudales y un canal de salida. Maneja un caudal de aproximadamente 0,70 L/s de aguas negras (obtenido de las caracterizaciones que se han realizado en la planta hasta la fecha), que son fundamentalmente las de abastecimiento del mismo que han sido usadas en diferentes actividades como la limpieza, descargas de las cocinas de restaurantes, baterías de baños, establecimientos comerciales, instituciones, aguas subterráneas, cisternas de los aviones que llegan al aeropuerto o de precipitación que puedan incluirse etc., y que a su vez al ser tratadas son dirigidas a un colector el cual vierte las aguas al río Otún.

Aunque sea una obligación por parte de la empresas realizar un tratamiento a sus residuos líquidos antes de ser vertidos, se ha detectado que no todos los tratamientos están teniendo los resultados esperados, por lo tanto las instituciones gubernamentales encargadas de vigilar y controlar la calidad del medio ambiente exigen el cumplimiento del decreto 1594 de 1984 de las normas de vertimiento artículo 73, el cual se refiere al uso del agua y residuos líquidos, para disminuir o detener el creciente deterioro de los recursos naturales causados por los vertimientos derivados de las diferentes actividades del hombre.

Es por esto que el Aeropuerto Internacional Matecaña se ve en la obligación de conocer el funcionamiento de su planta de tratamiento de aguas residuales, determinar si cumple con los requisitos y brindar posibles soluciones a los

problemas presentados, entre otros, muerte y arrastre de material biológico, septización de las aguas residuales y arrastre de toda clase de basura hacia la planta, todo esto con el fin de evitar sanciones por parte de la ley y aún más importante evitar y disminuir la contaminación del medio ambiente.

Estudios similares se han realizado en diferentes zonas del país; es el caso de la planta de EMCALI, que fue donde comenzaron con el desarrollo de las tecnologías anaerobias, la planta de tratamiento de aguas residuales doméstica “Rio Frio”, la Base Naval del Pacífico Zona A, entre otros, llevados a cabo con el fin de observar la eficiencia en la remoción de los diferentes parámetros y ver sus ventajas con respecto al tratamiento aerobio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del Aeropuerto Internacional Matecaña para conocer las características del agua que trata y dar soluciones a los problemas presentados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el afluente y efluente de la planta para determinar la composición del agua residual.
- Identificar los flujos máximos y mínimos de la planta.
- Realizar análisis de los resultados para ver si cumplen con el decreto 1594 de 1984.
- Detectar problemas en el funcionamiento de la planta y proponer posibles soluciones.
- Realizar el manual de operación y mantenimiento de la planta.
- Determinar los parámetros de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación, económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO_2 , es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado un tratamiento secundario ya que este está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios [2].

Las aguas residuales del **AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA** son fundamentalmente las aguas de abastecimiento que han sido usadas en diferentes actividades entre las que se puede incluir limpieza, establecimientos comerciales, aguas subterráneas, instituciones, etc.

2.2 CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA

Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías:

1.2.1 Contaminantes Químicos: Estos componen tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación de productos orgánicos es la disminución del oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica, llevando con ello a un desajuste y a serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, mas que una disminución de oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo.

1.2.2 Contaminantes Físicos, estos incluyen:

- **Cambios térmicos:** La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles, como el caso de las aguas provenientes de las plantas industriales, relativamente calientes después de ser usadas en intercambiadores.
- **El color:** El cual determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales, es por ello que si el agua es reciente esta suele ser gris; sin embargo como quiera los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro.
- **La turbidez:** Originada por los sólidos en suspensión.
- Espumas, detergentes y la radioactividad.

1.2.3 Contaminantes Biológicos: Estos son los responsables de las transmisiones de las enfermedades como el cólera y la tifoidea.

Los contaminantes de las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas servidas.

Es por esto que las aguas residuales, dependiendo de la cantidad de estos componentes, se clasifica en fuerte, media y débil. Debido a que la concentración como la composición va variando con el transcurso de tiempo, con los datos siguientes solo se pretende dar una orientación para la clasificación de las aguas servidas.

Constituyente (mg/L)	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	1200	700	350
Sólidos Disueltos	850	500	250
Sólidos Suspendidos	350	250	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	300	200	100
Nitrógeno	85	40	20
Amoníaco Libre	50	25	12
Fósforo	20	10	6
Alcalinidad	200	100	50
Grasa	150	100	50

Tabla 1.1 Clase de agua residual según su composición [3].

1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las industrias que producen aguas residuales importantes evacúan distintos tipos de aguas de diversa procedencia que componen el agua residual final, a la cual se le debe hacer un estudio que consta de ciertos pasos descritos a continuación para así conocer las características del agua.

1.3.1 Medida del caudal: Las medidas del caudal y determinación del grado del mismo son necesarios para establecer un programa representativo del muestreo, fijar los volúmenes de aguas residuales a ser tratados, y determinar el tipo de instalaciones necesarias para manipular los caudales que sean fluctuantes. Si las conducciones de aguas residuales están equipadas con dispositivos para la medición del caudal en los puntos convenientes, el trabajo para realizar tales medidas es relativamente sencillo. Sin embargo, en muchos casos estos dispositivos no suelen encontrarse, especialmente en las fábricas más antiguas. En tales casos, la persona a realizar el muestreo tendrá que elegir el método, el equipo y el lugar para obtener los datos sobre el caudal, y considerar el tipo de medidor, su ubicación, costo de instalación, calidad de los datos obtenidos y su conveniencia para el trabajo en cuestión.

1.3.2 Muestreo: Las técnicas de muestreo utilizadas en un examen de residuos aportarán datos representativos ya que los datos que se obtengan del análisis de las mismas servirán de base para el diseño de las instalaciones de tratamiento. No existe un procedimiento único universal para el muestreo, este se realiza de modo que se ajuste a la operación de cada fábrica y a las características del residuo producido. Para tratar los problemas inherentes de muestreo de aguas residuales, cuya composición sea muy variada, es necesario disponer de procedimientos especiales. Por ello, conviene tener unos lugares especiales para la realización de los muestreos así como determinar la frecuencia y tipo de muestra que ha de tomarse.

El examen de planos que muestren las conducciones y pozos de registro facilitará la localización de los puntos idóneos para llevar a cabo el muestreo de las aguas, que deberán estar situados donde las condiciones de flujo sean tales que generen una mezcla homogénea.

El grado de variación del caudal indicará el intervalo de tiempo del muestreo, el cual deberá ser suficientemente corto a fin de proporcionar una representación real del flujo.

De nada servirá un programa de muestreo realizado con todo cuidado si la integridad física, química y biológica de las muestras no se mantiene durante los periodos intermedios entre recogida y análisis de la muestra.

En el momento del muestreo es importante realizar observaciones “in situ” como la temperatura, pH, mirar si se presentan colores y olores extraños.

Análisis de las muestras: Los análisis a realizar dependen del tipo de la actividad industrial y de la finalidad del examen en cuestión.

1.4 PARÁMETROS PARA MEDIR LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

A continuación se hará una descripción de los parámetros más importantes utilizados en la caracterización de aguas residuales.

1.4.1 Características Físicas:

- **Temperatura:** La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas debido a la energía liberada durante las reacciones bioquímicas que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las

descargas calientes son otras de las causas del aumento de temperatura en las aguas residuales y en las corrientes que las recibe.

- **Color:** Históricamente, la palabra condición se utilizó junto con composición y concentración para describir el agua residual. La condición se refiere a la edad del agua residual. Se determina cualitativamente por su olor y color. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica. Algunas aguas residuales de tipo industrial añaden color al agua residual doméstica.
- **Olor:** El olor de las aguas residuales frescas es muy característico y ligeramente desagradable. Los olores son debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar desagradable, pero más tolerable que el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos.

Hasta el momento no existe una técnica adecuada para medir el olor en las aguas, pues las existentes están sujetas a las facultades olfativas del analista.

- **Sólidos:** Los sólidos que se presentan en las aguas residuales pueden ser de tipo orgánico y/o inorgánico y provienen de las diferentes actividades industriales.

Estrictamente hablando, toda la materia, excepto el agua contenida en materiales líquidos, es considerada como materia sólida. La definición más

generalizada de sólidos es la que se refiere a toda la materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado bajo una temperatura entre 103°C -105°C.

Los métodos existentes para la determinación de sólidos son empíricos, fáciles de determinar y están diseñados para obtener información sobre los diferentes tipos de sólidos presentes. Estos tipos de sólidos se describirán a continuación.

- **Sólidos Totales (ST):** Los sólidos totales en las aguas residuales se expresan como la cantidad de materia que permanece como residuo una vez se ha efectuado una evaporación entre 103°C-105°C.
- **Sólidos Volátiles (SV):** Si los sólidos totales se someten a una combustión bajo una temperatura de 600°C durante 20 minutos, la materia orgánica se convierte de CO₂ a H₂O. esta pérdida de peso se interpreta en término de materia orgánica o volátil. Los sólidos que no se volatilizan se denominan sólidos fijos (SF).
- **Sólidos Suspendidos (SS):** Los sólidos suspendidos son de gran importancia en el tratamiento de las aguas residuales. Precisamente uno de los límites que se fijan a los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales está basado en la concentración de los SS.

Los SS se determinan como la cantidad de material retenido después de realizar la filtración de un determinado volumen de muestra. El volumen que se filtra es casi siempre pequeño (50 mL) por las dificultades que se presentan en la filtración. Después de la filtración, el crisol, el medio filtrante y el material retenido se secan a 103-105°C permitiendo luego un enfriamiento. La diferencia en peso entre las condiciones iniciales y las finales representa los SS [5].

1.4.2 Características químicas

1.4.2.1 Materia orgánica

- **Grasas y aceites:** Las grasas animales y los aceites son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos, siendo los dos primeros los hidratos de carbono y las proteínas. El término grasa, normalmente utilizado, incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes que se hallan en el agua residual.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Sin embargo, los ácidos minerales las atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso.

1.4.2.2 Medida del contenido orgánico

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. Normalmente se mide transcurridos 5 días (DBO₅) y se expresa en mg O₂/litro.

Es un método aplicable en aguas superficiales continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría, utilizándose en este caso el método de oxidabilidad con permanganato potásico.

El método mide la concentración de los contaminantes orgánicos. Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas también por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-aliltiurea como inhibidor.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O₂/litro.

Al realizar los ensayos de la DBO y DQO en una muestra se puede obtener la relación de los dos (DBO/DQO), obteniendo así la proporción de materia orgánica biológicamente oxidable [3].

1.4.2.3 Materia inorgánica

- **pH:** La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa del ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

1.5 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

1.5.1 Tratamiento primario

Busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química (poco utilizada en la práctica, salvo aplicaciones especiales, por su alto costo).

Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. En algunos casos, el agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación.

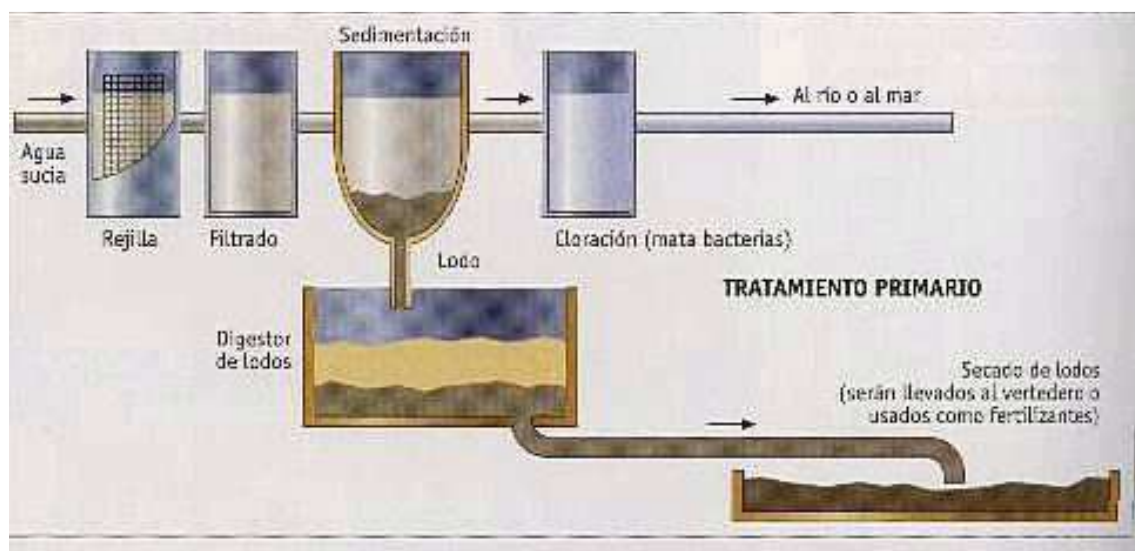


Figura 1.1 Tratamiento primario de aguas residuales

- **Cámara de arena**

En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m³ por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales.

- **Sedimentación**

Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO₅ y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados *coagulación* y *floculación* químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

- **Flotación**

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la *flotación*, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1,75 kg y 3,5 kg por cm². El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.

- **Digestión**

La *digestión anaerobia* se realiza en un estanque cerrado llamado digestor y no requiere la presencia de oxígeno pues es realizada por bacterias que se desarrollan en su ausencia. Para el óptimo crecimiento de estos microorganismos se requiere una temperatura de 35 ° C. Las bacterias anaerobias degradan la materia orgánica presente en el agua servida, en una primera fase, a ácido propiónico, ácido acético y otros compuestos intermedios, para posteriormente dar como producto final metano (60 - 70 %), anhídrido carbónico (30%) y trazas de amoníaco, nitrógeno, anhídrido sulfuroso e hidrógeno. El metano y el anhídrido carbónico son inodoros; en cambio, el ácido propiónico tiene olor a queso rancio y el ácido acético tiene un olor a vinagre.

La *digestión aerobia* se realiza en un estanque abierto y requiere la presencia de oxígeno y, por tanto, la inyección de aire u oxígeno. En este caso la digestión de la materia orgánica es efectuada por bacterias aerobias, las que realizan su actividad a temperatura ambiente. El producto final de esta digestión es anhídrido carbónico y agua. No se produce metano. Este proceso bien efectuado no produce olores.

- **Desecación**

El cieno digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El cieno desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo [5].

1.5.2 Tratamiento secundario

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado un tratamiento secundario ya que este está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios.

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y gas metano, este ultimo se puede separar y quemar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas.

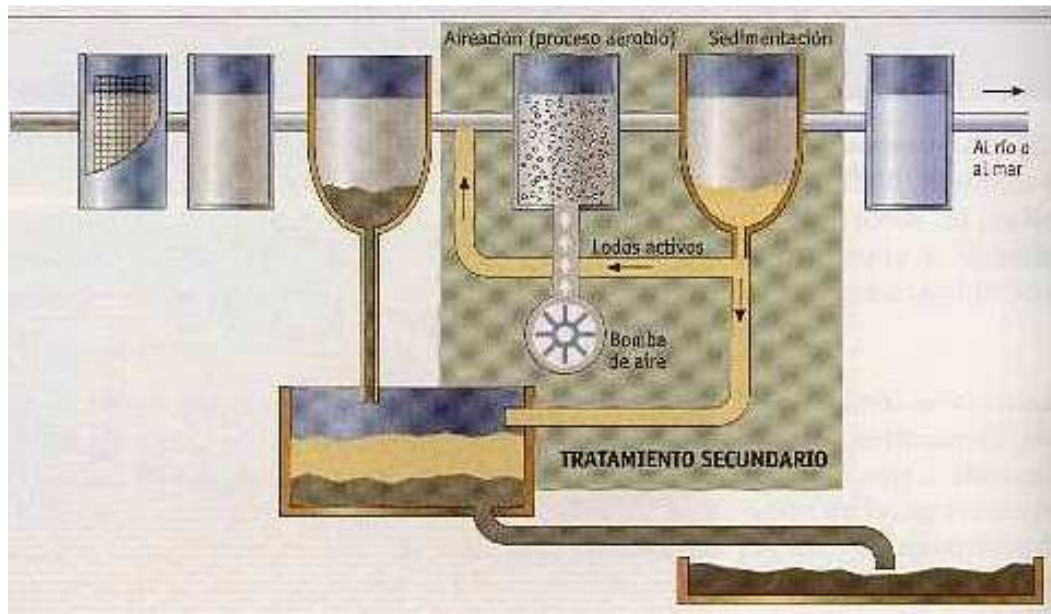


Figura 1.2 Tratamiento secundario aerobio

1.5.2.1 Tratamiento Biológico Anaerobio

En 1969, McCarthy lleva a cabo estudios en Estados Unidos a escala de laboratorio utilizando un reactor de lecho fijo y flujo ascendente llamado filtro anaeróbico, cuya primera aplicación a escala real ocurrió en 1972 para el tratamiento de efluentes líquidos provenientes de una industria de procesamiento de almidón de trigo.

- **El metabolismo anaerobio**

Para poder discutir algunas generalidades sobre tecnologías de tratamiento anaeróbico, resulta necesario indicar primero la forma en que las bacterias anaeróbicas realizan sus funciones orgánicas. El proceso de biodegradación anaeróbica se efectúa en tres etapas a saber:

En la I Etapa la materia orgánica compleja, tal como carbohidratos, proteínas y grasas, es transformada por un grupo de microorganismos facultativos en materiales orgánicos más simples, los cuales son solubilizados en el agua mediante acción de enzimas producidas por las células bacterianas.

Durante la II Etapa el material simplificado y solubilizado en la primera es utilizado por un grupo especial de bacterias denominadas "acidogénicas". Estas bacterias lo fermentan y convierten en ácidos orgánicos como acético, propiónico, oleico y alcoholes simples, dióxido de carbono, nitrógeno e hidrógeno, sustancias que en su mayoría producen problemas de malos olores.

En la III Etapa aparece otro grupo de bacterias denominadas "metanogénicas", las cuales utilizan los ácidos y alcoholes producidos por el grupo acidogénico, transformándolos en metano y dióxido de carbono, fundamentalmente, con reducción notable en la producción de olores molestos.

El aspecto vital que se debe comprender en este tema, es que las bacterias productoras de metano (metanogénicas) son las responsables de la estabilización o degradación de la materia orgánica, por lo que no se lograría eficiencia alguna en una planta de tratamiento anaeróbica a menos que hayan aparecido en cantidad y calidad adecuadas, las bacterias metanogénicas.

Por lo tanto, la eficiencia sanitaria en remoción de carga orgánica por parte del sistema biológico, dependerá de la adecuada operación de la fase metanogénica en el reactor anaeróbico. Esta condición se cumplirá a su vez, si se ha presentado una adecuada actividad acidogénica previa.

A lo anterior debe agregarse, que las bacterias metanogénicas son de lento crecimiento y muy susceptibles a las variaciones bruscas de temperatura, no así las acidogénicas. Esta es una de las razones por las cuales es fundamental controlar la temperatura en los reactores anaeróbicos, de lo contrario se producirá exceso de ácido con deterioro de la eficiencia sanitaria.

Esta situación explica también, que durante el arranque y operación inicial del tratamiento anaeróbico, la producción de olores molestos será mayor, acompañado por una acidificación del agua (descenso del pH) y una pobre eficiencia en remoción de contaminación orgánica.

Para efectos de reducir las variaciones normales de temperatura en el agua de la planta de tratamiento, amén de minimizar la producción de olores y aumentar la eficiencia del sistema, se recomienda tapar los tanques reactores lo más hermético posible, con sistemas removibles únicamente para tratamiento.

Las tecnologías patentadas, dependiendo del clima ambiental en que operarán los reactores anaeróbicos, utilizan sistemas de calentamiento del agua y de control de temperatura dentro de dichos reactores, aprovechando el biogás como fuente energética. Con esto se logra incrementar significativamente la eficiencia sanitaria de los mismos, comparativamente con reactores sin calentamiento ni control de temperatura.

Debe decirse en este punto que el metabolismo anaeróbico se torna más eficiente conforme aumenta la temperatura, llegándose incluso a valores óptimos del orden de 57°C, en la fase denominada termofílica. Debido a la dificultad práctica de operar en este rango de temperatura, las tecnologías patentadas prefieren optar por el rango mesofílico (cercano a 37°C).

Estas condiciones no son usuales, por lo que se operan los sistemas anaeróbicos de tratamiento en fases de menor eficiencia, con temperaturas que oscilarán en

los rangos de operación entre sicrofílica y mesofílica, aprovechando únicamente la temperatura ambiente (en nuestro medio es cálida).

- **Ventajas del tratamiento anaeróbico**

Todas las tecnologías anaeróbicas disponibles son apropiadas para nuestro medio, siempre y cuando se tomen las previsiones pertinentes para control de malos olores.

Las grandes ventajas del tratamiento anaeróbico con respecto a la modalidad aeróbica son las siguientes:

Como la estabilización anaeróbica proporciona a las células poca energía, su crecimiento es relativamente bajo. De esta forma la producción de lodos es mucho menor que en el caso aeróbico, con mayor sencillez en su operación y mantenimiento.

Los requerimientos de nutrientes en el proceso anaeróbico son mucho menores que en el aeróbico, permitiéndose una mayor cobertura de aplicabilidad práctica de estos sistemas sobre el segundo.

Como no es necesaria la aeración, los costos operativos son mucho menores así como los de mantenimiento. Con un adecuado aprovechamiento de la topografía y carga hidráulica disponible es posible contar con tratamiento anaeróbicos compactos, sin requerimientos de bombeo y adecuada eficiencia en remoción de contaminantes orgánicos, especialmente en aguas residuales de concentración orgánica elevada.

El gas metano producido en condiciones de equilibrio del proceso puede ser reutilizado como fuente energética. Es aquí donde surge el concepto de "biodigestores para aprovechamiento energético".

La principal desventaja del sistema anaeróbico, aparte de ser menos eficiente que el sistema aeróbico, estriba en la producción de malos olores, especialmente en épocas de cambios bruscos en la temperatura (obviamente, en caso que se trate de reactores sin control de temperatura).

Esta condición puede ser controlable, parcial o totalmente, dependiendo del diseño e implantación adecuada de sistemas de cerramiento de tanques, control operacional del pH, quemado del biogás de exceso y alejamiento adecuado de la planta de tratamiento con relación a núcleos poblacionales [6].

- **Tecnologías anaeróbicas aplicables**

Las tecnologías anaeróbicas de tratamiento de aguas residuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Lagunas de Estabilización
- Filtros Anaeróbicos de Flujo Descendente
- Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente

- **Lagunas de estabilización**

Se puede decir que las lagunas de estabilización son estanques contruidos directamente sobre el terreno, en los cuales se hace permanecer el agua residual durante largos períodos de tiempo, de tal forma que las bacterias presentes en el líquido degraden o mineralicen los desechos orgánicos.

Para evitar contaminación de mantos acuíferos, deberá garantizarse su impermeabilización a nivel del fondo y taludes, aplicando capas de material arcilloso, o mediante coberturas adecuadas para tales fines.



Figura 1.3 Laguna anaeróbica tratamiento aguas mieles de café

- **Filtros anaeróbicos de flujo descendente**

En este tipo de Reactor el agua fluye por encima y por debajo de una serie de pantallas, la biomasa sube y cae pero sin movimiento horizontal a través del reactor, para que las bacterias permanezcan dentro del tanque. La alimentación del flujo puede ser continua, y se recomienda diseñar estructuras hidráulicas para garantizar que el lecho filtrante opere ahogado siempre.

Cualquier traza de oxígeno disuelto en el agua será eliminada por la acción biológica bacteriana (conocido como Demanda Bioquímica de Oxígeno -DBO-).

Al igual que en todos los procesos anaeróbicos, se pueden presentar problemas intermitentes de olores, que pueden controlarse parcialmente con cerramiento de estructuras y ubicación adecuada de la planta de tratamiento.

- Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente

Los reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) corresponden a una reciente tecnología derivada de estudios efectuados en Holanda a partir del año 1980, estudios que se continuaron posteriormente en Brasil, Colombia y otros países. Hoy es una tecnología altamente difundida en todo el mundo, incluyendo el desarrollo de tecnologías patentadas (proceso UASB).

En general el tratamiento mediante RAFAs consiste en tanques de gran volumen, alimentados con el agua residual desde su sección inferior, recolectándose el agua tratada en su sección superior. Durante el período de retención hidráulica del reactor, el material contaminante es estabilizado parcialmente por bacterias anaeróbicas, con la consecuente producción de biogás.

Se han propuesto distintas versiones de RAFAs, destacando entre ellas las siguientes:

Manto de lodos (UASB), lecho expandido, lecho fluidizado, y filtro anaeróbico (FAFA).

Considerando que los resultados experimentales y prácticos, se han orientado especialmente al desarrollo e investigación de dos de estas variantes, serán

comentadas a continuación: proceso de manto de lodos (UASB), y filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA).

a) El Reactor de Manto de Lodos (UASB)

El proceso conocido como UASB en honor a las siglas originalmente difundidas en inglés (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), consiste en un tanque que deberá “llenarse” de un material granular biológico que actuará a manera de un manto de lodos. Dado que la alimentación del agua residual es por la sección inferior y el flujo es ascendente, dicho manto de lodos se expande debido a la acción del flujo hidráulico ascendente, que operará como un “filtro biológico”.

El material granular debe poseer características de peso y granulometría, tal que no sea arrastrado hacia fuera del tanque (lavado de biomasa).

Este tipo de unidades es muy delicado durante el proceso de arranque, especialmente durante la fase de crecimiento de la biomasa anaeróbica activa (manto de lodos granulares).

Para tales fines, se deberá alimentar el reactor con importantes cantidades de lodos anaeróbicos antes de la puesta en operación del proceso y cultivar dicha semilla biológica en forma controlada, hasta alcanzar la cantidad y calidad requerida.

La idea consiste en permitir la maduración de estos lodos para lograr una transformación paulatina de los desechos en pequeños gránulos anaeróbicos activados, de alto poder estabilizador. Cuidado especial deberá tenerse durante el arranque del sistema para lograr la maduración de lodos sin ocasionar su lavado, por lo que se deberá operar la planta de tratamiento con caudales menores a los

de diseño. Por otro lado, se deberá controlar periódicamente el crecimiento del lodo y la producción de biogás, como indicadores de la actividad biológica.

b) Filtro Anaeróbico (FAFA)



Figura 1.4 Filtro anaeróbico (FAFA) seguido de laguna facultativa

En cuanto al filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA), su operación hidráulica es similar al proceso UASB, con la diferencia que el tanque es totalmente empacado, similar a un filtro biológico aeróbico.

El material de empaque debe tener idealmente alta porosidad, de tal forma que se aumente la superficie específica de contacto entre el material orgánico a estabilizar y el material filtrante, idéntico al caso aeróbico. Este tema, según algunos estudios recientes, pareciera contradictorio en el sentido que la porosidad no mejora la eficiencia sanitaria, por lo que el consultor prefiere recomendar los materiales porosos.

Resulta evidente aquí el cuidado que se debe tener de incorporar tratamientos preliminares que eliminen material suspendido del agua, con miras a evitar tempranas obstrucciones del filtro anaeróbico.

Típicamente, la eficiencia en remoción de materia orgánica (en términos de DBO y DQO) para reactores UASB y FAFA, oscila entre el 60 y el 80%. Para reactores UASB patentados, que operan en fase mesofílica a través del calentamiento del agua con aprovechamiento del biogás, puede oscilar hasta el 90%. Esta limitante deberá tomarse en cuenta para el caso de aguas residuales de elevada concentración orgánica, en cuyo caso es usual contar con un tratamiento aeróbico posterior, para mejorar la calidad del vertido (esto dependerá también, de los límites permisibles del vertido en la reglamentación correspondiente a cada país).

1.5.3 Tratamiento terciario

De carácter físico-químico o biológico: desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente pueden lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización.

Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento terciario de aguas contaminadas están: la microfiltración, la coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la remoción de nutrientes, la cloración y la ozonización [7].

1.6 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL AEROPUERTO



Figura 1.5 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Aeropuerto Internacional Matecaña

El Aeropuerto Internacional Matecaña se encuentra localizado al occidente de la ciudad de Pereira latitud $04^{\circ}4'53''N$ longitud $75^{\circ}44'42''W$ a 1.346 metros sobre el nivel del mar. Tiene una longitud perimetral de 6.750 metros. Su planta de tratamiento está situada al sur de la pista en la parte central.

El sistema de tratamiento para aguas residuales del Aeropuerto Internacional Matecaña consiste en un tanque séptico que actúa como tratamiento primario seguido de un filtro anaeróbico de aguas residuales de flujo ascendente también conocido como FAFA, el cual actúa como tratamiento secundario. La retención de biomasa se consigue utilizando como material de relleno grava de 2" y 1" sobre el que se adhieren los microorganismos. La mayor parte de la biomasa activa se encuentra en suspensión entre los espacios vacíos del soporte, y una cantidad menor adherida a la superficie del mismo.

En este proceso el propio relleno actúa como separador de gas proporcionando zonas de reposo para la sedimentación de los fangos que se encuentran en suspensión. El reactor es en gran medida un reactor de fangos suspendidos y el sistema de distribución del líquido en la parte inferior del reactor es crítico para la obtención de un comportamiento óptimo.

1.6.1 Tanque séptico

El tanque séptico constituye el primer sistema de tratamiento biológico de las aguas residuales del Aeropuerto y en él se dan las siguientes etapas o procesos:

1. Separación de los sólidos de la parte líquida.
2. Promoción de la digestión bacteriológica de la materia orgánica.
3. Almacenamiento de los sólidos separados o sedimentados.
4. Permisión de la descarga del líquido estabilizado para posterior tratamiento y disposición final.

El tanque séptico consta de dos cámaras por línea. La primera cámara se utiliza en gran parte como sedimentación y en el segundo compartimiento ocurre una sedimentación y un almacenamiento adicional, además sirve para permitir descargas de líquidos estabilizados hacia los posteriores sistemas o procesos.

El tanque séptico funciona hidráulicamente a través de un sistema de vasos comunicantes, es decir el volumen de agua residual que ingrese al primer compartimiento, es expulsado después de un tiempo de retención, por el tubo de salida al segundo compartimiento.

El proceso que se desarrolla en el tanque séptico constituye el pre-tratamiento de las aguas residuales provenientes del Aeropuerto Matecaña.

Las aguas residuales en el tanque séptico son sometidas a descomposición natural y bacteriológica. Las bacterias presentes en el agua actúan sobre la materia orgánica, a través de un proceso de digestión anaeróbica, es decir, sin la presencia de oxígeno. Esta descomposición de aguas residuales en condiciones anaerobias es llamada séptica, de aquí el nombre del tanque.

Durante la descomposición se producen, además de lodos y agua, gas que asciende constantemente en forma de burbujas a la superficie. Las burbujas arrastran al líquido organismos necesarios para la putrefacción. Los gases escapan por el sistema de ventilación colocado en losa o placa superior del tanque.

Los sólidos más pesados se depositan en el fondo, formando una capa de lodos y la mayoría de los sólidos ligeros, como las materias grasas suben a la superficie y forman una capa de natas, mientras el efluente se lleva el resto de sólidos a los otros procesos de tratamiento.

El resultado más importante de la descomposición anaeróbica, la cual afecta no solo a los sólidos, sino también a la materia orgánica disuelta o coloidal, es una considerable reducción en el volumen de sedimentos, lo cual permite que el tanque funcione por un periodo largo de tiempo, antes de limpiarlo.

Los sólidos sedimentados se acumulan en el fondo del tanque, mientras que una espuma liviana compuesta de grasa se levanta y se acumula en la superficie. El líquido parcialmente clarificado sale por una tubería localizada por debajo de la capa de espumas.

El líquido clarificado pasa al segundo compartimiento. Los tanques sépticos de doble compartimiento proporcionan mejor eliminación de sólidos en suspensión. Esto nos garantiza una protección de los sistemas posteriores de tratamiento.

En el tanque séptico hay espacios para almacenar lodos y natas suficientes entre limpiezas, sin que afecte u obstruya el sistema posterior de tratamiento.

1.6.2 Filtro anaeróbico de flujo ascendente

El filtro anaeróbico corresponde a otra etapa o proceso del sistema de tratamiento, donde el agua residual fluye en forma ascendente a través de un medio filtrante, donde suceden los siguientes subprocesos:

- Formación de una capa o película biológica sobre la grava, constituida por microorganismos anaeróbicos, responsables de la digestión de la materia orgánica.
- Digestión de la materia orgánica.
- Degradación de sustancias químicas simples y complejas presentes en los residuos líquidos.
- Formación de gases, especialmente metano.

El filtro anaeróbico constituye el complemento del tanque séptico para el tratamiento eficaz de las descargas líquidas domésticas.

1.6.3 Lecho de secado

Los lechos de secado de lodos se han de construir para recibir los lodos extraídos. El lodo que llega del tanque séptico o filtro anaeróbico llega con gran contenido de agua que se esparce sobre la capa superficial de arena. El contenido de agua presente en los lodos, se filtra por medio de la arena y es recogida por una tubería de drenaje, hasta el sistema de alcantarillado.

Después de cierto tiempo el lodo termina por secarse, una vez los lodos están secos, se sacan manualmente con un rastrillo y pala y se pueden disponer en el terreno boscoso del mismo Aeropuerto o se abre un hueco en la tierra adicionándole cal y tapándolos nuevamente con la tierra extraída. Estos deben ser considerados residuos peligrosos.

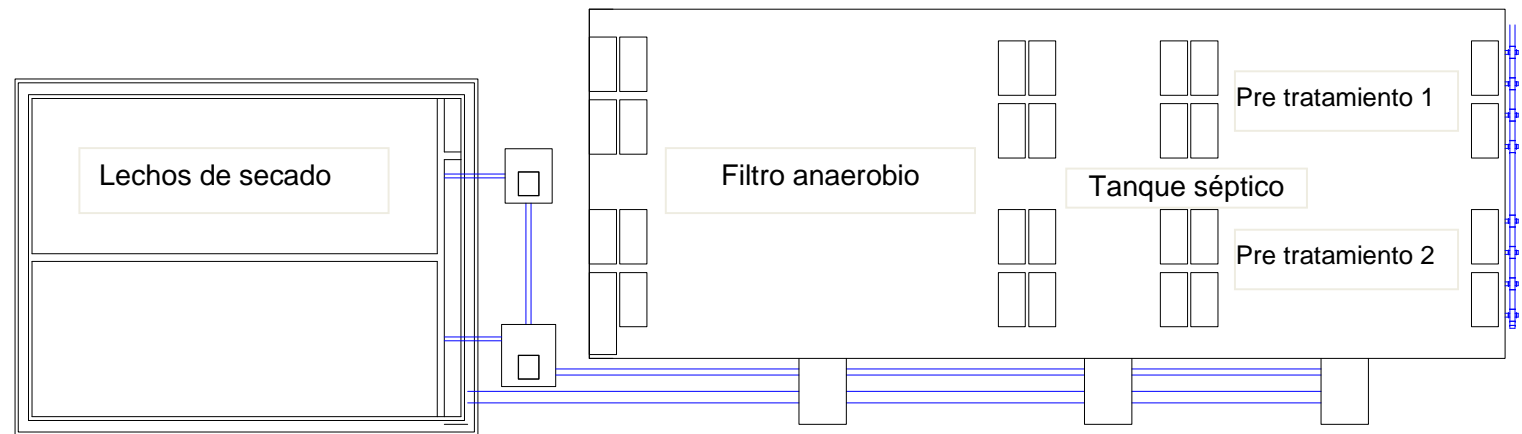


Figura 1.7 Vista Superior de la Planta de Tratamiento

Tabla 1.2 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FAFA
CARACTERISTICAS DE DISEÑO

CARACTERISTICA	MEDIDA
Tanque Séptico	
Caudal de diseño (L/s)	2,50
Caudal de diseño (m ³ /d)	216
Tiempo de detención (h)	24
Nº de líneas	2
Dimensiones útiles del tanque séptico	
volumen útil de cada tanque séptico (m ³)	108
Área (A) m ²	27
Largo (L) m	13,5
Ancho (B)	4
Altura útil (H) (m)	2
Borde libre (m)	0,35
Tiempo de detención (d)	1
Reactor anaeróbico	
Volumen útil del reactor anaeróbico(m ³)	
Con medio de soporte (m ³)	71,28
Sin medio de soporte (m ³)	35,64
Tiempo de detención (h)	8
Dimensiones útiles del reactor (m)	
Largo (L)	11,80
Ancho (B)	4,05
Altura (H)	2,3
Borde libre	0,35
Altura lamina de agua (m)	1,5
Altura de lecho de soporte (m)	1,5
Altura de falso fondo (m)	0,30
Espesor de la placa intermedia (m)	0,15
Área superficial (m ²)	47,52
Porcentaje de vacios (%)	50%
Lecho de soporte	Piedra de 1"y 2"

2 METODOLOGÍA

2.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para el propósito de este proyecto primero se realizó un estudio del tratamiento preliminar del tanque (tanque séptico) al igual que de la planta en el cual se observaron sus características, cómo es la entrada del afluente, su distribución en el fondo del reactor, etc.

Luego de esto se procedió con la operación y tratamiento rutinario de la planta. En este punto se hizo retiro de sólidos y natas que se encontraban tanto en el tanque de tratamiento como en el de pre tratamiento y la cámara de distribución, además se observó cómo operaba la planta, si lo hacía de un modo adecuado, y se realizaron las recomendaciones necesarias. De acuerdo a esto se elaboró el manual de mantenimiento y operación de la planta, el cual cuenta con diferentes ítems tales como determinación de caudales en la planta, mantenimiento de la caja de distribución del afluente, mantenimiento del pre tratamiento, mantenimiento del filtro anaeróbico, recomendaciones de seguridad, entre otros, al igual que un formato de mantenimiento y operación.

2.2 MUESTREO

2.2.1 En campo

Con el fin de conocer las características del afluente y efluente de la planta para saber si cumplían con los parámetros exigidos por la normatividad vigente, además saber cómo era el funcionamiento de la planta, se realizaron 2

caracterizaciones en dos puntos, afluente y efluente, obteniendo así dos muestras de cada caracterización. Estas caracterizaciones fueron manuales y compuestas. Cada una tuvo duración de 3 a 4 horas debido a las fuertes lluvias presentadas en el momento de muestreo, que impidieron continuar.

Para realizar las caracterizaciones primero se hizo una adecuación de los dos puntos a muestrear, la cámara de distribución y el vertedero del canal de efluentes.



Figura 2.1 Cámara de distribución de afluentes

Sin un tratamiento preliminar, inicialmente el agua residual llega a esta cámara que tiene como función la distribución uniforme del afluente a los dos sistemas de pre tratamiento que existen. Igualmente se utilizará como cámara de aforo y muestreo.



Figura 2.2 Vertedero del canal de efluentes antes de adecuación



Figura 2.3 Vertedero del canal de efluentes. En esta imagen se puede observar donde se ubico el sitio de aforo y muestreo al final de la Planta de tratamiento y la adecuación que se realizó para poder aforar Y muestrear en la misma.



Figura 2.4 Vertedero del canal de afluentes después de la lluvia. Después de un fuerte aguacero el canal de efluentes se rebosó como se aprecia en la imagen lo que impidió continuar con el aforo, mostrándonos que los aliviaderos de aguas lluvias no están funcionando como debe ser.

Los muestreos se llevaron a cabo en las siguientes fechas:

- 2 de septiembre de 2008 de 12:00 PM a 3:00 PM
- 7 de noviembre de 2008 de 8:00 AM a 1:00 PM

Cada muestra se tomó cada treinta minutos, y a cada una de estas se le determinó el pH, caudal y temperatura.

Para componer cada muestra se obtuvo el valor del factor K, el cual nos ayuda a determinar el volumen de líquido que se debe agregar de cada muestra puntual para así obtener la muestra compuesta. Este se halla de la siguiente forma:

$$K = \text{volumen total de la muestra} / (\text{tasa media de flujo} * \text{No. de muestras}) \quad 2,1$$

2.2.2 En el laboratorio

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Aguas de la Universidad Tecnológica de Pereira en donde se realizaron los siguientes análisis por parte de los analistas asignados:

- DQO
- DBO₅
- Sólidos Suspendidos Totales
- Sólidos Suspendidos Volátiles
- Detergentes
- Grasas
- pH

Estos parámetros se realizaron de acuerdo al Standard methods for the examination of water and wastewater edición 21 de 2005.

2.2.3 Procesamiento de datos

Con los resultados de campo y laboratorio se obtuvo la eficiencia de la planta para cada uno de los parámetros, la carga contaminante, y así mismo con los resultados de la DBO₅ y la DQO se estudió la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en la misma.

- **Determinación de la Carga Contaminante**

Decreto 1594/84. Capítulo I. Artículo 14: Denominase carga al producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinado en el mismo sitio; se expresa en kg/día.

Decreto 901 de 1997. Capítulo II (Definiciones). Artículo Tercero.

Carga contaminante diaria (Cc): Es el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante, por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas, es decir:

$$Cc = Q * C * 0,0864 * (t/24) \quad 2,2$$

Cc: Carga contaminante, en Kilogramos por día (kg/día)

Q: Caudal promedio, en litros por segundo (L/s)

C: Concentración de la sustancia contaminante, en miligramos por litro (mg/L)

0,0864: Factor de conversión de unidades

t: Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día.

- **Determinación de la eficiencia de remoción**

Para conocer la eficiencia se usa la siguiente ecuación:

$$\%Efi = ((C_{CA} - C_{CE}) / C_{CA}) * 100 \quad 2,3$$

Donde:

C_{CA} = Carga contaminante afluente

C_{CE} = Carga contaminante efluente

Los resultados obtenidos se comparan con los valores de remoción permitidos en el decreto 1594 de 1984, de las normas de vertimiento.

Los resultados en conjunto se analizaron teniendo en cuenta los datos de todas las caracterizaciones realizadas en la planta hasta la fecha, de las cuales tenemos acceso a la información. Estas fueron realizadas en las siguientes fechas:

- 16 de febrero de 2006
- 28 de marzo de 2006
- 20 de abril de 2006
- 14 de junio de 2006
- 9 de agosto de 2006
- 7 de octubre de 2006
- 12 de diciembre de 2006
- 9 de agosto de 2007
- de diciembre de 2007

Del mismo modo, usando los resultados de las caracterizaciones y las dimensiones de la planta (de la cual tenemos los planos), se obtuvo los parámetros de operación de la planta.

El tratamiento estadístico se realizó con el Software Microsoft Excel 2007, el cual contiene las herramientas estadísticas necesarias (media, valor máximo y valor mínimo), al igual que gráficas de líneas, que facilitan el estudio del comportamiento de los parámetros de acuerdo con la fluctuación en el tiempo y en el sitio.

Tabla 2.1 Formato de toma de datos

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FAFA
FORMATO PARA AFOROS VOLUMETRICOS**

PUNTO: _____

FECHA: _____

VOLUMEN RECIPIENTE: _____

TIEMPO: _____

Hora	Caudal L/s	Alícuota mL	pH	Temp °C	Observaciones
					*K=

Q_{Max} =

Q_{Prom} =

Q_{Min} =

*K: se obtiene de la ecuación 2,1

3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN

A continuación se presentan los resultados del caudal máximo, caudal promedio y caudal mínimo de las caracterizaciones realizadas el 2 de septiembre y 7 de noviembre de 2008. Los formatos de aforo de donde se obtuvieron éstos resultados se encuentran anexados.

- Septiembre 2 de 2008

Vertedero del canal del afluente

$$Q_{\text{Max}} = 0.687 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Prom}} = 0.570 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Min}} = 0.478 \text{ L/s}$$

Vertedero del canal del efluente

$$Q_{\text{Max}} = 0.687 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Prom}} = 0.570 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Min}} = 0.478 \text{ L/s}$$

- Noviembre 7 de 2008

Vertedero del canal del afluente

$$Q_{\text{Max}} = 0,660 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Prom}} = 0,550 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Min}} = 0,420 \text{ L/s}$$

Vertedero del canal del efluente

$$Q_{\text{Max}} = 0,660 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Prom}} = 0,550 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{Min}} = 0,420 \text{ L/s}$$

4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 DETERMINACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE

La carga contaminante de la DQO del afluente se obtiene de acuerdo a la ecuación 2,2, con una proyección de 20 horas, donde:

Caudal promedio afluente $Q = 0,57 \text{ L/s}$

Concentración DQO = 302 mg/L

$t = 20$ horas

$C_c = 0,57 \text{ L/s} \cdot 302 \text{ mg/L} \cdot 0,0864 \cdot (20/24)$

$C_c = 12,394 \text{ kg/día}$

4.2 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN

De acuerdo a la ecuación 2,3, la eficiencia de la planta en la remoción de DBO es:

$C_{CA} = 12,39 \text{ kg/h}$

$C_{CE} = 1,23 \text{ kg/h}$

$\% E_{fi} = 9,08\%$

De la misma forma se halla la remoción para los demás parámetros.

Los resultados obtenidos se comparan con los valores de remoción permitidos en el decreto 1594 de 1984, de las normas de vertimiento.

También se incluyen los resultados de todas las caracterizaciones hechas desde el inicio del funcionamiento de la planta, los datos de los parámetros analizados en laboratorio con su respectiva carga contaminante y porcentaje de eficiencia de remoción.

Tabla 4.1 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA

PLANTA DE TRATAMIENTO FAFA

CARGAS CONTAMINANTES Y NORMATIVIDAD

VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL PERIODO DE OPERACIÓN DE SEPTIEMBRE 2 DE 2008

PARAMETRO	CAUDAL PROMEDIO AFLUENTE (L/s)	CAUDAL PROMEDIO EFLUENTE (L/s)	AFLUENTE CONCENTRACIÓN (mg/L)	EFLUENTE CONCENTRACIÓN (mg/l)	AFLUENTE CARGA CONTAMINANTE PROYECTADA (Kg/20 horas)	EFLUENTE CARGA CONTAMINANTE PROYECTADA (Kg/20 horas)	EFI (%)	NORMA DECRETO 1594/84 Art. 73
DQO	0,57	0,57	302	30	12,394	1,23	90,08	NA
DBO ₅	0,57	0,57	162	18	6,65	0,74	90,00	>80 %
GRASAS Y/O ACEITES	0,57	0,57	80	4	3,28	0,16	95	>80 %
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	0,57	0,57	158	11	6,48	0,45	93	>50
DETERGENTES	0,57	0,57	2,58	0,80	0,106	0,033	69	NA
OTROS PARAMETROS DE INTERES SANITARIO								
PH PROMEDIO (EFLUENTE)	7,11							5 - 9
TEMPERATURA PROMEDIO (EFLUENTE)	22,7							<40
CAUDALES PICO ¹ Q _{max} /Q _{promedio}	1,2 L/s			1,05 L/s		1,03 L/s		

¹Caudales Máximos horario

Tabla 4.2 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA

PLANTA DE TRATAMIENTO FAFA

CARGAS CONTAMINANTES Y NORMATIVIDAD

VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL PERIODO DE OPERACIÓN DE NOVIEMBRE 7 DE 2008

PARAMETRO	CAUDAL PROMEDIO AFLUENTE (L/s)	CAUDAL PROMEDIO EFLUENTE (L/s)	AFLUENTE CONCENTRACIÓN (mg/L)	EFLUENTE CONCENTRACIÓN (mg/L)	AFLUENTE CARGA CONTAMINANTE PROYECTADA (Kg/20 horas)	EFLUENTE CARGA CONTAMINANTE PROYECTADA (Kg/20 horas)	EFI (%)	NORMA DECRETO 1594/84 Art. 73
DQO	0,55	0,55	159	25	6,3	0,99	84,3	NA
DBO ₅	0,55	0,55	32	11	1,26	0,44	65,6	>80 %
GRASAS Y/O ACEITES	0,55	0,55	26	2	1,02	0,08	92,3	>80 %
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	0,55	0,55	48	4	1,90	0,16	91,6	>50 %
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	0,55	0,55	48	4	1,90	0,16	91,6	NA
DETERGENTES	0,55	0,55	4,9	1,237	0,19	0,049	74,21	NA
PH PROMEDIO (EFLUENTE)	7,33							5-9
TEMPERATURA PROMEDIO (EFLUENTE)	25,2							<40 °C
CAUDALES PICO ¹ Q _{max} /Q _{promedio}	1,2			1,04		1,08		
	No cumple la norma							

¹Caudales Máximos horarios

**Tabla 4.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FAFA AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA.
VALORES PROMEDIO DE CARGAS CONTAMINANTES OBTENIDOS EN LOS PERIODOS DE OPERACIÓN**

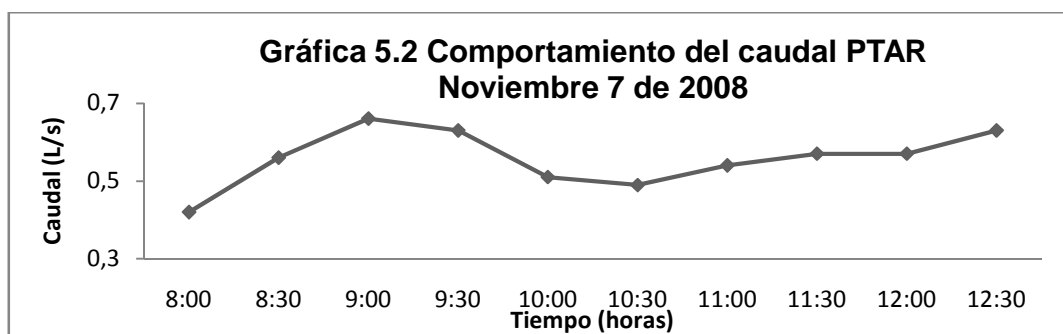
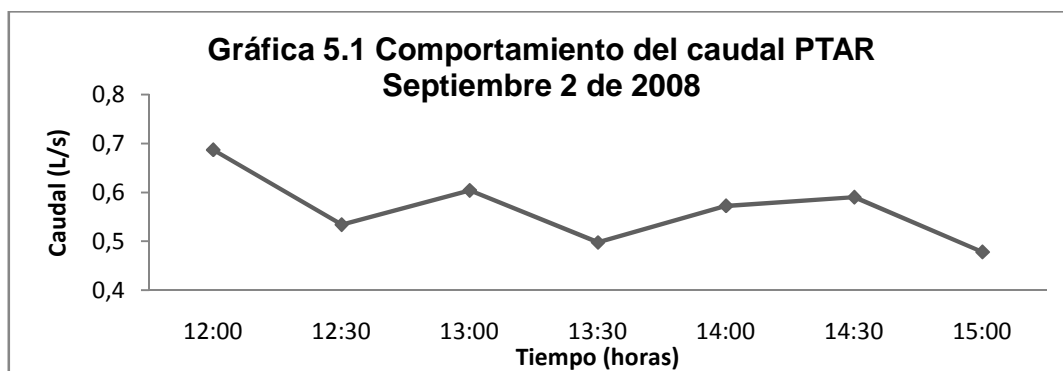
FECHA	Q MEDIO L/S	DBO			DQO			SST			GRASAS Y ACEITES			DETERGENTES			pH (5 – 9)	T °C Valor max. <40	RELACIÓN DBO ₅ /DQO	
		AFL	EFL	EFI	AFL	EFL	EFI	AFL	EFL	EFI	AFL	EFL	EFI	AFL	EFL	EFI			AFL	EFL
		mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%				
II-16-06	0,97	60	12	80	201	38	81,09	32	12	62,5	22	3	86,36	2,18	1,26	42,25	7,3-7,47	23,5	0,30	0,32
III-28-06	0,77	27	7	74,07	157	38	75,8	36	6	83,33	17	8	52,94	1,72	0,97	43,61	7,02-7,28	25,4	0,17	0,18
IV-20-06	0,31	83	17	79,52	211	57	72,99	90	7	92,22	15	6	60,0	1,82	1,68	7,69	7,22-7,55	26,8	0,39	0,30
VI-14-06	0,61	74	11	85,14	118	24	79,66	26	1	96,15	18	4	77,78	1,35	1,077	0,20	7,12-6,98	25,7	0,63	0,46
VIII-9-06	0,56	66	32	51,52	88	33	62,5	73	23	68,49	20	5	75,0	1,63	1,48	9,2	7,35-7,47	24,1	0,75	0,97
IX-7-06	0,69	36	10	72,22	114	40	64,91	62	9	85,48	15	2	86,67	2	2	0	7,01-7,72	26,7	0,32	0,25
XII-12-06	1,35	88,9	23,6	73,45	188	28,7	84,73	51,8	6,32	87,80	17,1	2,15	87,43	2,10	1,46	30,48	7,94	22,05	0,47	0,82
VIII-9-07	0,65	165	35,5	78,48	234	77,5	66,88	58,4	9,13	84,37	19,2	2,15	88,8	4,99	3,0	39,88	7,28	24,74	0,70	0,46
XII-4-07	0,72	105	31,3	72,91	112	47,4	61,54	73,8	29,4	63,8	31,9	4,10	87,15	8,2	1,87	79,28	7,33	23,43	0,93	0,66
IX-2-08	0,57	162	18	90	302	30	90,08	158	11	93	80	4	95	2,58	0,8	69	7,11	22,7	0,54	0,60
11-7-08	0,55	32	11	65,6	159	25	84,3	48	4	91,6	1,02	0,08	92,3	4,9	1,237	74,21	7,33	25,2	0,20	0,44
Promedio	0,70																			
		Cumple el decreto 1594 de 1984 para usuarios existentes, Remoción > 80% para DBO y grasas , >50% para SST, <40 T°C, pH (5-9)																		

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIONES HECHAS EN SEPTIEMBRE Y NOVIEMBRE

A continuación se presentan los resultados de las caracterizaciones realizadas en septiembre y noviembre de 2008.

5.1.1 Caudal



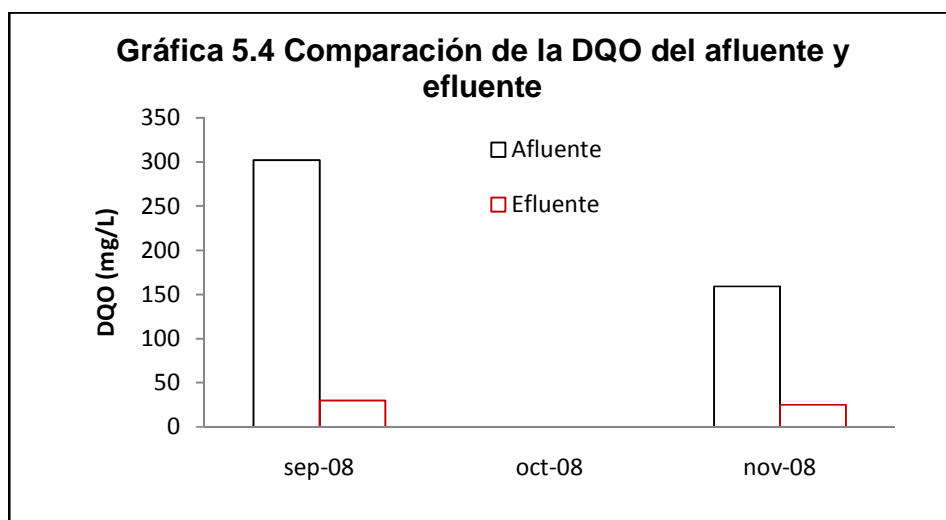
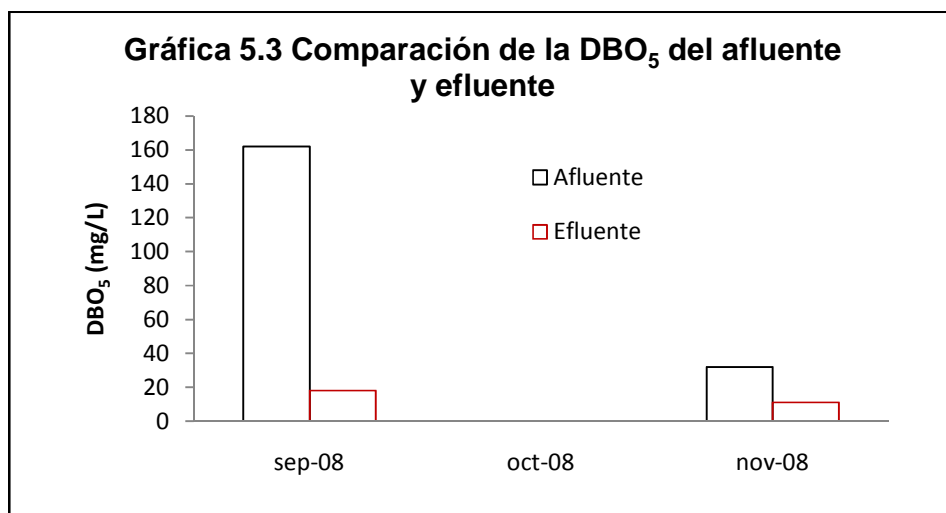
Se puede observar igual que el consumo de agua, la cantidad de aguas residuales varía de acuerdo con el clima, día de la semana y hora del día.

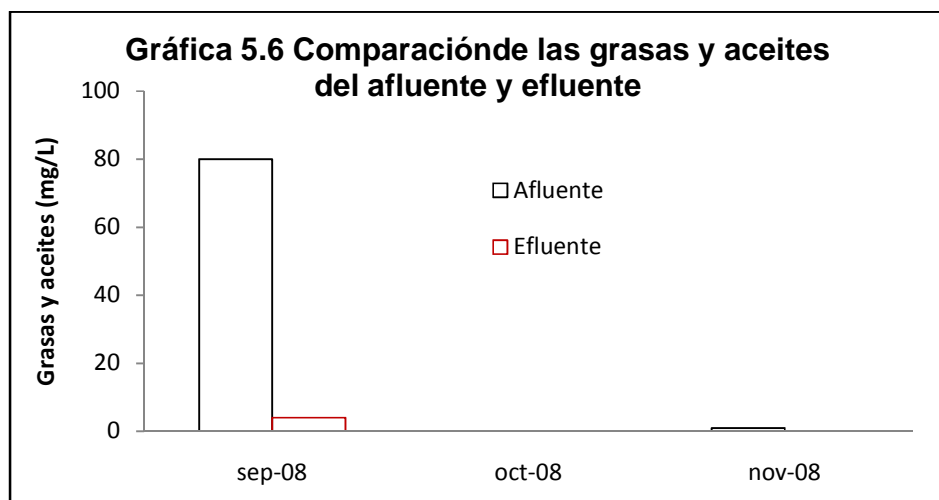
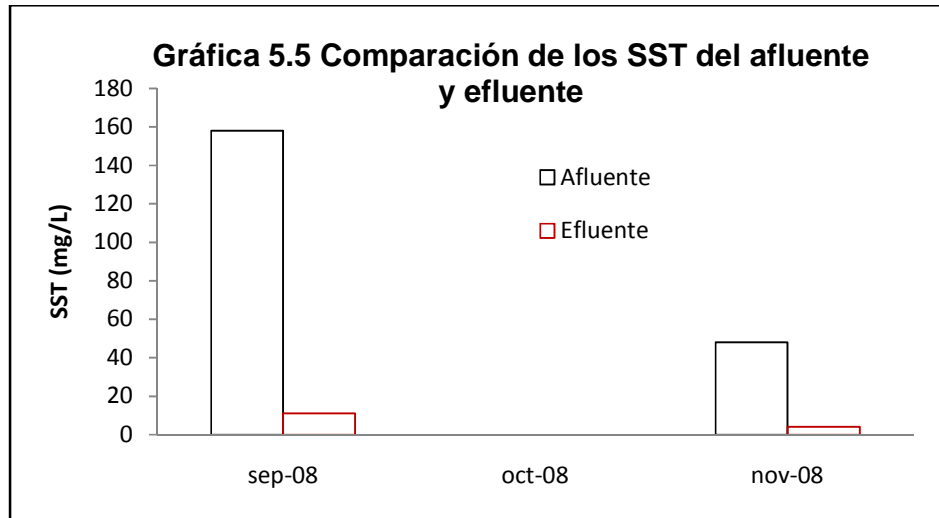
La fluctuación del volumen de aguas residuales varía porque se producen descargas intermitentes a la PTAR.

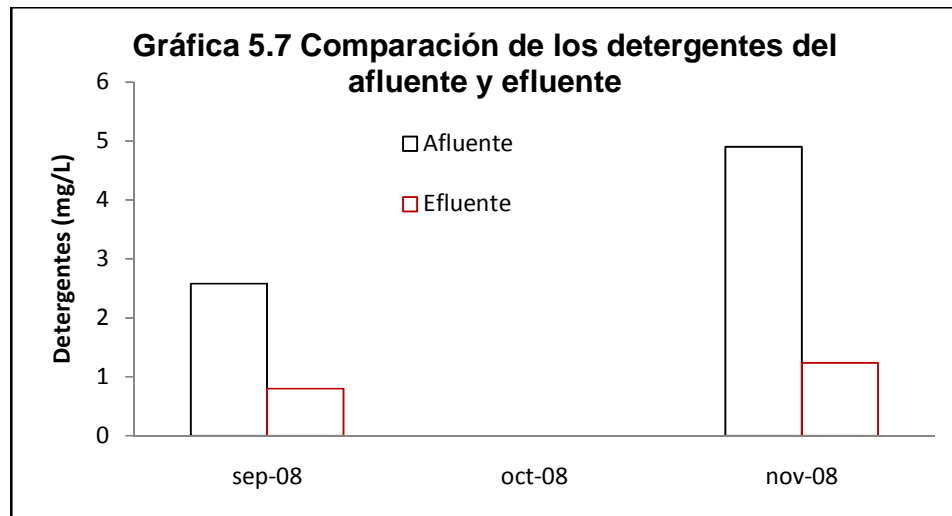
En este caso el caudal promedio es similar en ambos muestreos.

5.1.2 Parámetros analizados en el laboratorio

Las gráficas presentadas a continuación corresponden a la comparación de la concentración a la entrada (color negro) y salida de la planta (color rojo) de cada uno de los parámetros analizados en el laboratorio tales como: DBO₅, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, grasas y aceites y detergentes.







Como se aprecia en los gráficos 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7, los únicos parámetros que tienen un comportamiento similar en ambos muestreos, inclusive cumpliendo la norma, son los SST y las grasas y aceites, obteniéndose remociones por encima del 90%. Esto se debe más que todo al sistema de pre tratamiento utilizado en la PTAR, el cual remueve gran parte de los sólidos suspendidos y grasas.

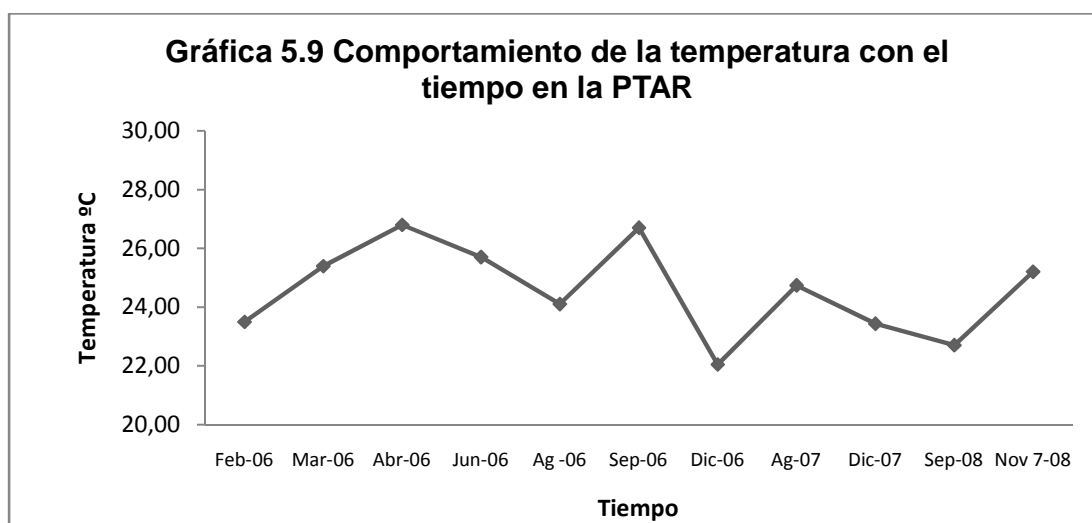
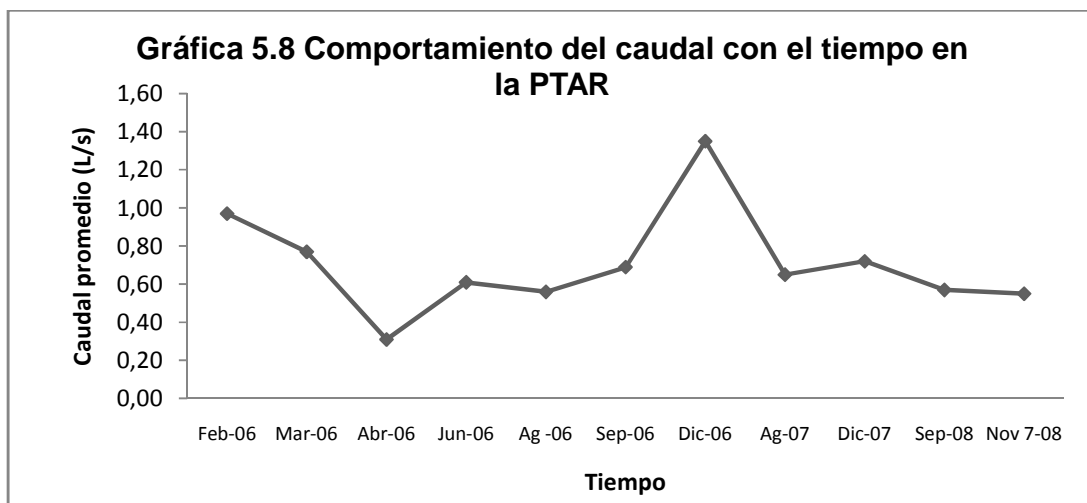
La biodegradabilidad del desecho es bastante buena en el mes de septiembre (Graf. 5.3). Lo que representa una buena remoción de DBO_5 del 90 % cumpliendo la norma; no siendo así para el mes de noviembre.

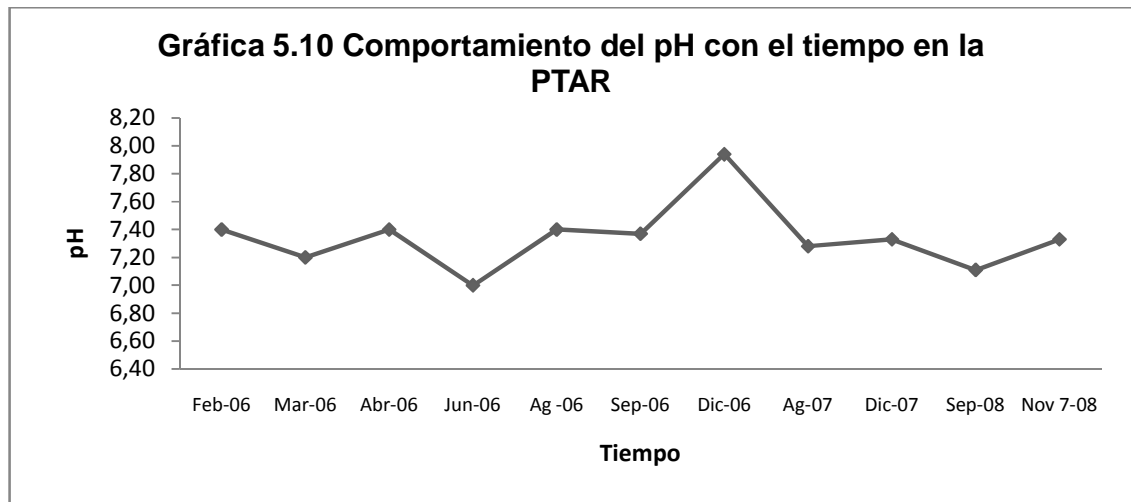
Ha habido una recuperación de la planta en la remoción de detergentes del 69% para el primer muestreo y 79,2% para el segundo (Graf 5.7), se espera que esta situación continúe. En cuanto a la DQO (Graf 5.4) hubo una remoción importante en los dos muestreos; en el primero del 90% y del 84,3% para el segundo.

5.2 CARACTERIZACIONES REALIZADAS DESDE EL INICIO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

A continuación se presenta una comparación de los resultados promedios obtenidos de todos los muestreos realizados desde que la planta inició su funcionamiento.

5.2.1 Caudal, temperatura y pH

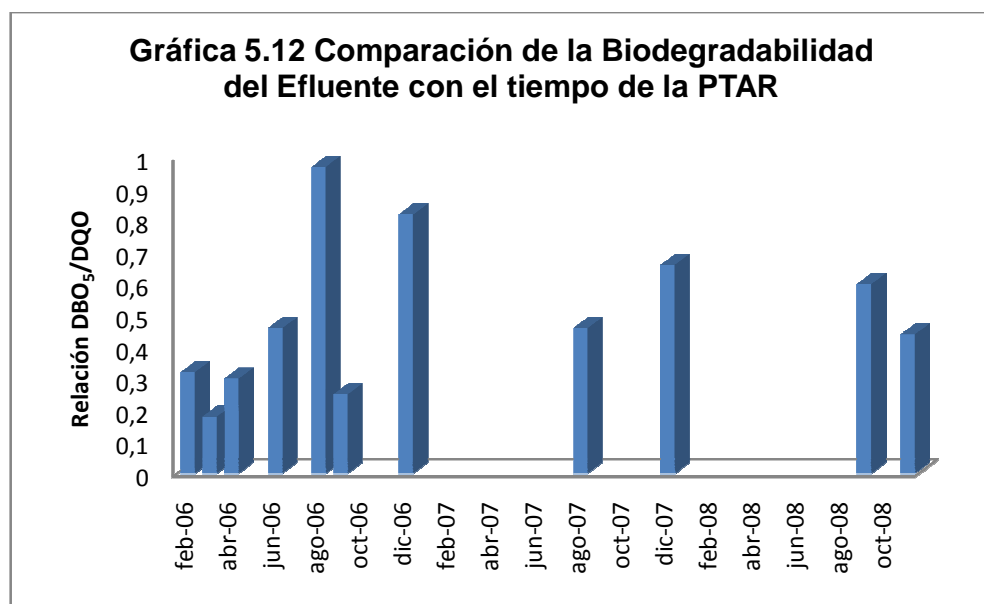
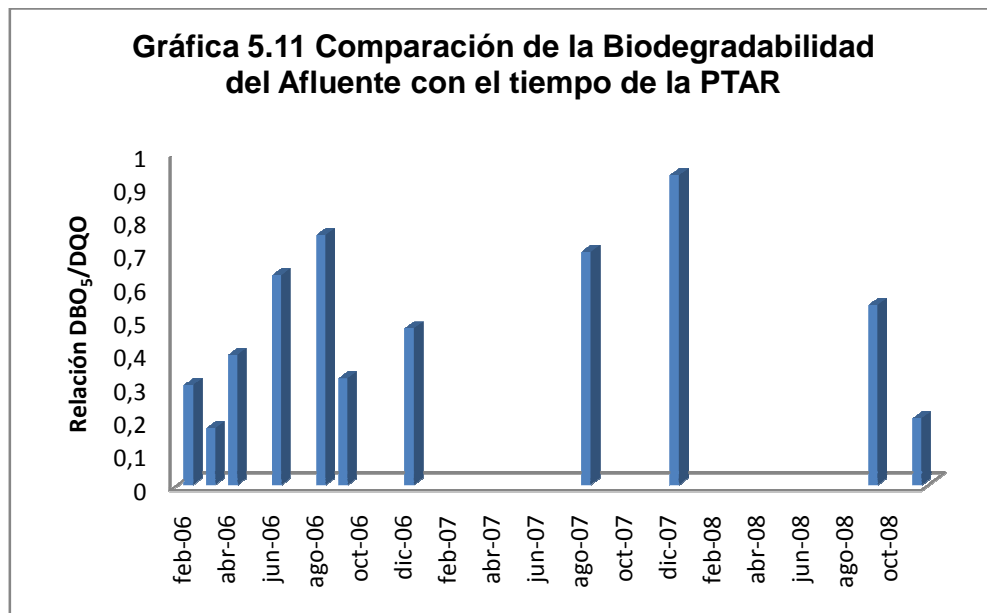




Como se puede observar en la gráfica 5.8, el caudal no es constante con el tiempo, lo que podría ser debido a cambios de clima que se presentan. La fluctuación del volumen de aguas residuales varía porque se producen descargas intermitentes a la PTAR.

En las gráficas 5,8, 5,9 y 5,10 se el caudal promedio es de 0,70 L/s, el pH oscila entre 6,98 y 7,94 < 9,0 y la temperatura oscila entre 22,05 y 26 °C < 40 °C en todos los muestreos realizados, parámetros que cumplen con la norma.

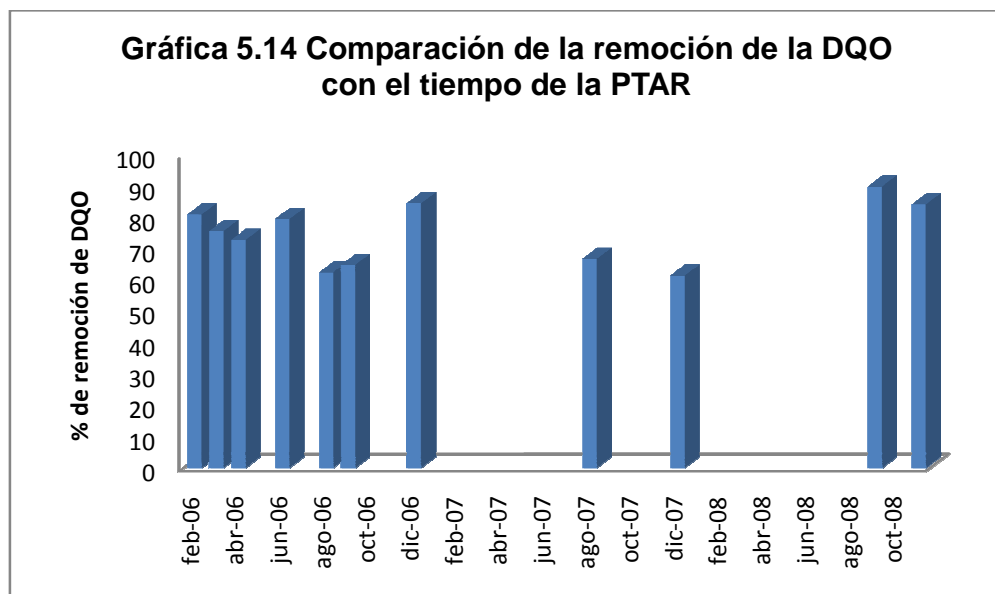
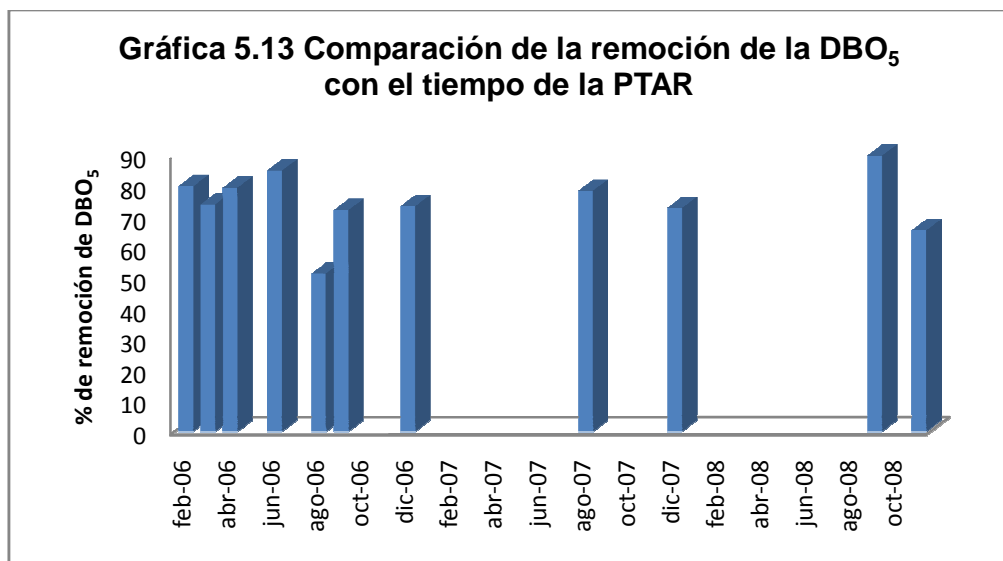
5.2.2 Biodegradabilidad



Los Gráficos 5.11 y 5.12 muestran que la relación DBO_5/DQO es muy similar, lo que significa que la actividad biológica es mínima.

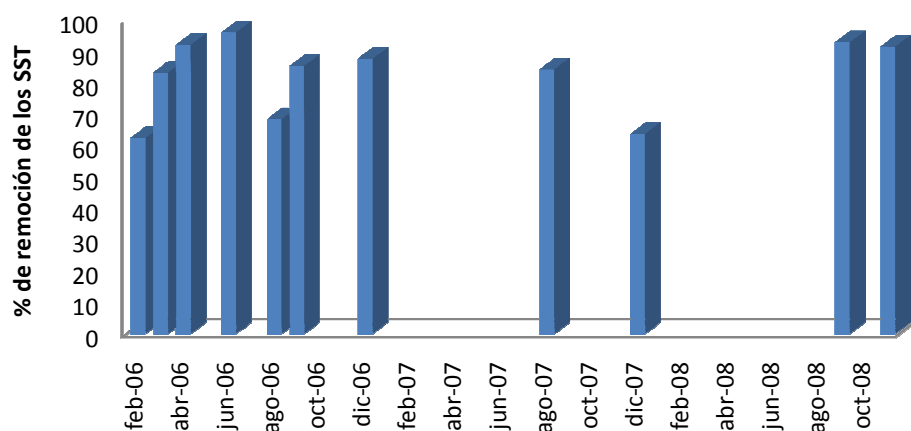
5.2.3 Comparación de la remoción de los diferentes parámetros

En los gráficos presentados a continuación se compara el porcentaje de remoción de los parámetros analizados en el laboratorio durante el tiempo que la planta ha estado funcionando.

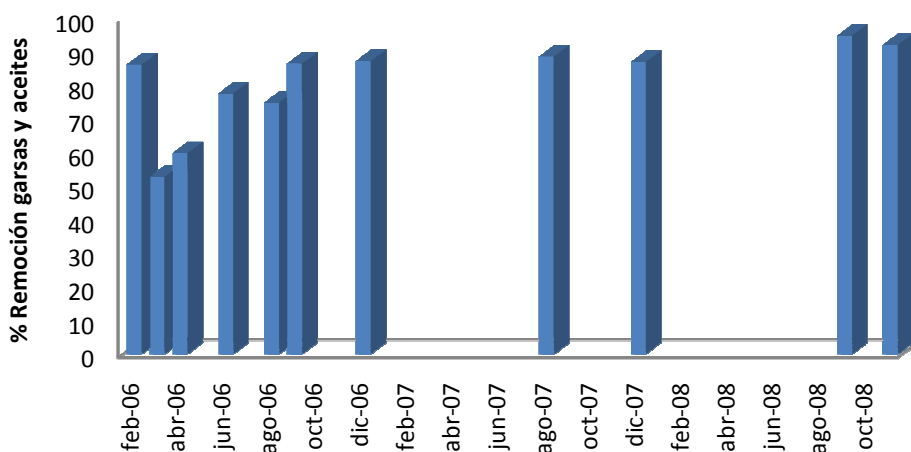


En las fechas febrero 6, junio 6 y septiembre 2 de 2008 la gráfica 5.13 y 5.14 ilustran cómo la remoción de la DBO₅ y la DQO en la PTAR alcanzan su mayor valor, inclusive superando la norma.

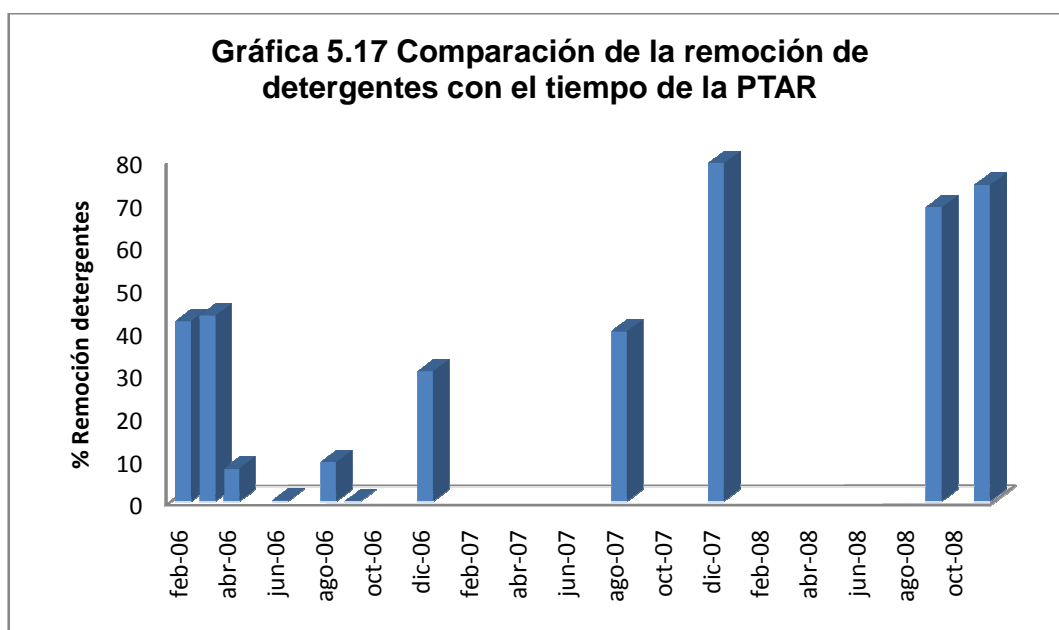
Gráfica 5.15 Comparación de la remoción de los SST con el tiempo de la PTAR



Gráfica 5.16 Comparación de la remoción de grasas y aceites con el tiempo de la PTAR



Como se observa en las graficas 5.15 y 5.16, los sólidos SST son removidos cumpliendo la norma en un 100% de los muestreos y las grasas cumpliendo la normatividad en un 77% de los muestreos, lo que demuestra la efectividad del pre tratamiento de la PTAR.



La gráfica muestra cómo solamente en el 23% de los muestreos los detergentes alcanzan una buena remoción y el resto (77%), una eficiencia en la remoción que no supera el 43,61%, a pesar de un tiempo de retención de 4 días, mostrándose de esta forma la baja biodegradabilidad de los detergentes utilizados.

Tabla5.1 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FAFA
COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO

CARACTERÍSTICA	MEDIDA	
	DISEÑO	ACTUAL
Tanque Séptico		
Caudal actual de funcionamiento (L/s)	2,50	0,70
Caudal de diseño (m ³ /d)	216	60,5
Tiempo de detención (h)	24	86,4
Nº de líneas	2	
Dimensiones útiles del tanque séptico		
Volumen útil de cada tanque séptico (m ³)	108	108
Área (A) m ²	27	27
Largo (L) m	13,5	13,5
Ancho (B)	4	4
Altura útil (H) (m)	2	2
Borde libre (m)	0,35	0,35
Tiempo de detención (d)	1	3,6
Reactor anaeróbico		
Volumen útil del reactor anaeróbico(m ³)		
Con medio de soporte (m ³)	71,28	71,28
Sin medio de soporte (m ³)	35,64	35,64
Tiempo de detención (h)	8	13
Dimensiones útiles del reactor (m)		
Largo (L)	11,80	11,80
Ancho (B)	4,05	4,05
Altura (H)	2,3	2,3
Borde libre	0,35	0,35
Altura lamina de agua (m)	1,5	1,5
Altura de lecho de soporte (m)	1,5	1,5
Altura de falso fondo (m)	0,30	0,30
Espesor de la placa intermedia (m)	0,15	0,15
Área superficial (m ²)	47,52	47,52
Porcentaje de vacíos (%)	50%	50%
Lecho de soporte	Piedra de 1"y 2"	Piedra de 1"y 2"

CONCLUSIONES

- Para este reactor los parámetros de operación utilizados han sido los siguientes:
 - Carga orgánica del afluente DBO mg /L : 27 – 165
 - Carga orgánica del afluente DQO mg /L : 88 - 302
 - Detergentes del afluente mg/L : 1,35 – 8,2
 - pH : 7,02-7,94
 - T °C: 22 – 26,8
 - Q promedio : 0,70 L/s
 - Q máx.= 0,97 L/s
 - Q mín. = 0,31 L/s

De los parámetros anteriores, al ser comparados con la tabla 1.1 que nos muestra la clase de agua residual según su composición, podemos concluir que el agua residual que está entrando a la planta está entre media y débil. El pH y la temperatura son los adecuados para el tratamiento biológico. Sin embargo, el caudal promedio es más bajo que el de diseño de la planta (2,50L/s).

- La planta está trabajando de forma eficiente con respecto a la remoción de DQO, sólidos, grasas y aceites.
- El alto porcentaje de remoción de sólidos se debe a que los tanques sépticos están trabajando con un tiempo de retención más alto de lo esperado (el caudal de la planta es más bajo que para el que fue diseñada), por lo cual se está produciendo la eliminación de un porcentaje alto de sólidos sedimentables, pero a su vez está produciendo la septización de aguas residuales, que dificulta su posterior tratamiento en el filtro anaeróbico.

- La remoción de detergentes está por debajo del 50% en 73% de los muestreos, lo que nos indica el poco aclimatamiento de las bacterias a éste tipo de desecho, que puede ser debido a que el detergente para el aseo de aeronaves no sea lo suficientemente biodegradable.
- El arrastre de basuras hacia la planta se debe a que ésta no cuenta con un tratamiento preliminar que impida que éstas ingresen a la planta.
- Debido a la época invernal en que se encuentra la región y al mal funcionamiento de los aliviaderos de aguas lluvias, se está produciendo sobrecarga hidráulica, sin mantener la concentración del afluente en el reactor debido a la mezcla con aguas lluvias, pudiendo así producirse daños irreversibles al sistema al ser eliminada del mismo una parte significativa de la flora del reactor y producirse una obstrucción del filtro ya sea por las natas o los sólidos de toda clase que son arrastrados.

RECOMENDACIONES

- Continuar con el programa de vigilancia de las aguas residuales del Aeropuerto Internacional Matecaña que ha permitido dar asesoría y asistencia, con el fin de aplicar las medidas correctivas para reducir o eliminar riesgos sanitarios y por ende mejorar la calidad del servicio.
- Se recomienda el uso de un tratamiento preliminar en la planta para así evitar la presencia de sólidos que interfieran con el tratamiento.
- Es importante usar detergentes biodegradables para el mantenimiento de las aeronaves para que así halla mayor aclimatamiento de las bacterias y por ende mayor remoción de detergentes.
- Revisar los diseños la Planta de Tratamiento de aguas residuales del Aeropuerto Internacional Matecaña, teniendo como base la infraestructura actual de Tratamiento y los resultados obtenidos en los muestreos realizados hasta la fecha.
- Revisar el funcionamiento de los aliviaderos de aguas lluvias para que no halla mezcla de esta agua con el agua residual.

BIBLIOGRAFIA

1. Criterios de Diseño para sistemas de Tratamiento Anaeróbico UASB, Universidad del Valle Facultad de Ingeniería pág. 284
2. NEMEROW Nelson L. Aguas Residuales Industriales teorías, aplicaciones y tratamiento H. Blume Ediciones, 1975. Pág. 1,5,6,7
3. METCALF-EDDY Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Editorial Labor S.A. segunda edición- 1981 pág 237-279
4. La Importancia del Agua. Fecha marzo/09 Disponible en <http://contaminacion-purificacion-agua.blogspot.com/>
5. Caracterización y Pretratamiento de las Aguas Residuales Industriales. Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia. Medellín. 1986 Características de las Aguas Residuales, Tratamiento de las Aguas Residuales.
6. Tratamiento biológico de Aguas Residuales: Uso de Bacterias Beneficas. Fecha: Marzo/09 Disponible en [http://www.enziclean.com/articulos/tratamiento biológico de aguas residuales uso de bacterias benéficas.html](http://www.enziclean.com/articulos/tratamiento-biológico-de-aguas-residuales-uso-de-bacterias-benéficas.html)
7. Tratamiento primario, secundario y terciario de aguas residuales Fecha: Marzo/09 Disponible en http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/25agua.html

ANEXOS

**DATOS DE MUESTREOS
REALIZADOS EN SEPTIEMBRE
Y NOVIEMBRE DE 2008**

Tabla 1.1 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FORMATO PARA AFOROS VOLUMETRICOS

PUNTO: Vertedero del canal de afluente

FECHA: 2008-09-2

VOLUMEN RECIPIENTE: 2000 mL

TIEMPO: 3 horas

Hora	Caudal L/s	Alícuota ml	pH	Temp °C	Observaciones
12:00	0,687	347	7.3	25	K=504.96
12:30	0,534	270	7.3	25	
1:00	0,604	305	7.3	25	
1:30	0,498	251	7.3	25	
2:00	0,572	289	7.3	25	
2:30	0,590	293	7.3	25	
3:00	0,478	241	7.3	25	Se presentaron fuertes lluvias de 3:05 a 4:00 pm que impidieron continuar con el muestreo, se reboso caja de distribución de afluente y canal de efluente.

$Q_{Max} = 0.687 \text{ L/s}$

$Q_{Prom} = 0.57 \text{ L/s}$

$Q_{Min} = 0.478 \text{ L/s}$

**Tabla 1.2 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FORMATO PARA AFOROS VOLUMETRICOS**

PUNTO: Vertedero del canal de efluente

FECHA: 2008-09-2

VOLUMEN RECIPIENTE: 2000 mL

TIEMPO: 3 horas

Hora	Caudal L/s	Alícuota mL	pH	Temp °C	Observaciones
12:00	0,687	347	7,3	25	K=504.96
12:30	0,534	270	7,3	25	
1:00	0,604	305	7,3	25	
1:30	0,498	251	7,3	25	
2:00	0,572	289	7,3	25	
2:30	0,590	293	7,3	25	
3:00	0,478	241	7,3	25	Se presentaron fuertes lluvias de 3:05 a 4:00 pm que impidieron continuar con el muestreo, se reboso caja de distribución de afluente y canal de efluente.

$Q_{Max} = 0,687 \text{ L/s}$

$Q_{Prom} = 0,57 \text{ L/s}$

$Q_{Min} = 0,478 \text{ L/s}$

Tabla 1.3 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FAFA
FORMATO PARA AFOROS VOLUMETRICOS

PUNTO: Caja de distribución de afluente

FECHA: 2008-11-7

VOLUMEN RECIPIENTE: 2000 mL

TIEMPO: 5 horas

Hora	Caudal L/s	Alícuota mL	pH	Temp °C	Observaciones
8 : 00	0,42	192	7,01	24	K= 456.2
8 : 30	0,56	255	7,11	24	
9 : 00	0,66	301	7,72	24	
9 : 30	0,63	287	7,25	24	
10 : 00	0 ,51	233	7,40	26	
10 : 30	0,49	223	7,30	26	
11 : 00	0,54	246	7,38	26	
11 : 30	0,57	260	7,30	26	
12 : 00	0,57	260	7,40	26	
12 : 30	0,53	242	7,40	26	

$Q_{Max} = 0,66 \text{ L/s}$

$Q_{Prom} = 0,55 \text{ L/s}$

$Q_{Min} = 0,42 \text{ L/s}$

Tabla 1.4 AEROPUERTO INTERNACIONAL MATECAÑA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FAFA
FORMATO PARA AFOROS VOLUMETRICOS

PUNTO: Caja de distribución de efluente

FECHA: 2008-11-7

VOLUMEN RECIPIENTE: 2000 mL

TIEMPO: 5 horas

Hora	Caudal L/s	Alícuota mL	pH	Temp °C	Observaciones
8 : 00	0,42	192	7,01	24	K= 456.2
8 : 30	0,56	255	7,11	24	
9 : 00	0,66	301	7,72	24	
9 : 30	0,63	287	7,25	24	
10 : 00	0,51	233	7,40	26	
10 : 30	0,49	223	7,30	26	
11 : 00	0,54	246	7,38	26	
11 : 30	0,57	260	7,30	26	
12 : 00	0,57	260	7,40	26	
12 : 30	0,53	242	7,40	26	

$Q_{Max} = 0,66 \text{ L/s}$

$Q_{Prom} = 0,55 \text{ L/s}$

$Q_{Min} = 0,42 \text{ L/s}$

